

VALIDAZIONE SPERIMENTALE DI UN ALGORITMO DI IMAGING IN REAL-TIME PER LA TOMOGRAFIA A CORRENTI INDOTTE

Flavio Calvano¹, Guglielmo Rubinacci¹, Antonello Tamburrino², Salvatore Ventre²

¹Ass. EURATOM/ENEA/CREATE, DIEL, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italy

²Ass. EURATOM/ENEA/CREATE, DAEIMI, Università di Cassino, Italy

In questo lavoro si presenta una validazione sperimentale di un algoritmo non iterativo veloce per la tomografia a correnti indotte dei materiali conduttori [1] basato sul principio della monotonicità [2].

Nella tomografia a correnti indotte una assegnata corrente circolante in un insieme di bobine induce una densità di corrente elettrica (corrente indotta) nel materiale conduttore considerato per l'ispezione. La resistività elettrica del materiale influenza le correnti indotte e di conseguenza il segnale elettrico in corrispondenza dell'insieme di bobine riceventi che costituisce il sensore.

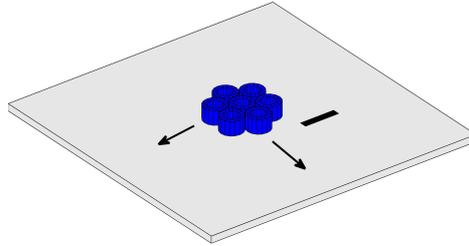


Figura 1. Superficie planare da analizzare con un sensore composto da un array di sette bobine e un difetto rettangolare. Le frecce indicano che la scansione della superficie è effettuata su tutta la superficie.

Il principio della monotonicità può essere applicato a un sensore costituito da un array di bobine (Figura 1) in cui i dati misurati consistono della misura della matrice di impedenza (impedenze auto e mutue) tra le bobine dell'array a frequenze prescritte. Esso è alla base di un algoritmo di ricostruzione real-time inizialmente sviluppato per problemi ellittici come la tomografia a resistenza elettrica [2], e successivamente esteso a problemi parabolici come l'ispezione a correnti indotte sia a bassa frequenza (spessori di penetrazione elevati) [1], che nel limite di spessore di penetrazione trascurabile rispetto alle dimensioni caratteristiche del problema [3-4].

In questo lavoro consideriamo il principio della monotonicità a bassa frequenza. Per questa configurazione andiamo a considerare la parte reale della matrice delle impedenze misurata:

$$\underline{Z}_{=D} = \underline{R}_{=0} + j\omega\underline{L}_{=0} + \omega^2\underline{P}_{=D}^{(2)} + j\omega^3\underline{P}_{=D}^{(3)} + O(\omega^4) \quad (1)$$

sotto l'ipotesi che la frequenza ω sia sufficientemente bassa da garantire che i termini dal 4° ordine in poi siano trascurabili. Nella (1) \underline{R}_0 e \underline{L}_0 sono la resistenza e l'induttanza di background (cioè in assenza di difetto), mentre D è la regione occupata dall'anomalia a resistività η_A maggiore della resistività η_B del provino. Sotto queste ipotesi è possibile mostrare che la parte reale \underline{R}_D della matrice \underline{Z}_D soddisfa la monotonicità [1]:

$$\Omega_{\text{test}} \subseteq D \Rightarrow \underline{R}_{=D} \geq \underline{R}_{=\Omega_{\text{test}}} \quad (2)$$

dove Ω_{test} è un'anomalia test arbitraria e $\underline{R}_{\Omega_{test}}$ è la parte reale della matrice delle impedenze

che compete ad un difetto che occupa la regione test Ω_{test} .

Nella (2) $\underline{R}_{=D} \geq \underline{R}_{=\Omega_{test}}$ significa che la matrice $\underline{R}_{=D} - \underline{R}_{=\Omega_{test}}$ è semidefinita positiva. L'equazione (2) è alla base del metodo per la soluzione del problema inverso [1-2]. Infatti dall'equazione (2) segue che:

$$\underline{R}_{=D} \geq \underline{R}_{=\Omega_{test}} \text{ false} \Rightarrow \Omega_{test} \notin D . \quad (3)$$

Per cui andando a verificare il test (3) per diverse posizioni e forme dell'anomalia test Ω_{test} è

possibile ricostruire una stima di D . Si noti che il costo computazionale per stabilire se $\underline{R}_{=D} - \underline{R}_{=\Omega_{test}}$ è semidefinita positiva è basso poiché richiede il calcolo degli autovalori di una matrice quadrata le cui dimensioni coincidono con il numero di bobine nell'array che, tipicamente è molto modesto.

Il set-up sperimentale proposto presenta un problema di imaging di un circuito stampato su cui sono incise le lettere IP (rame di spessore 35 μ m su un substrato dielettrico). L'array è composto da due bobine circolari innestate: la prima più grande (diametro interno=5mm, diametro esterno=10.5mm, altezza=6.5mm, numero di avvolgimenti=700) e la seconda più piccola (diametro interno=1mm, diametro esterno=4mm, altezza=3mm, numero di avvolgimenti=180). Le bobine, solidali tra loro, sono mosse sul circuito stampato da un movimentatore computerizzato. La frequenza di eccitazione è di 20kHz e scelta in modo da soddisfare la condizione che i termini di ordini più elevato nella (1) siano trascurabili e, contemporaneamente, che si abbia un adeguato rapporto segnale/rumore.

In Figura 2 è mostrato il circuito stampato e le ricostruzioni ottenute usando le singole bobine e l'array. Si noti che utilizzando contemporaneamente le bobine dell'array si ottiene la migliore ricostruzione. Le inversioni sono ottenute in real-time con un tempo di 50 millisecondi.

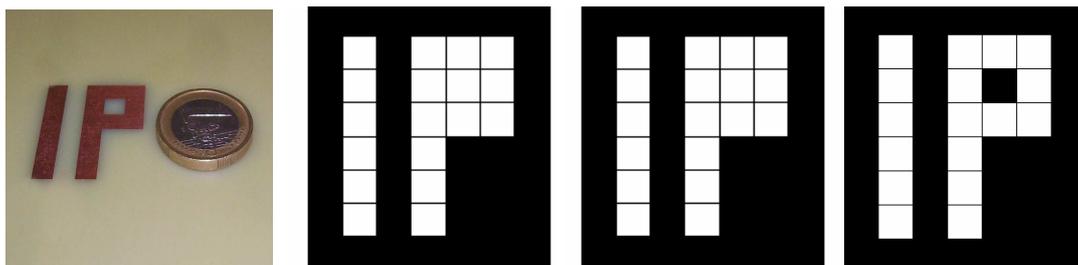


Figura 2. A sinistra: il circuito stampato sotto test. A seguire da sinistra a destra: ricostruzioni ottenute con l'impedenza della bobina più grande, della bobina più piccola e, infine, con la matrice 2x2 dell'array completo. I pixel bianchi rappresentano le zone conduttrici mentre quelli neri il substrato dielettrico.

Referenze

- [1] A. Tamburrino and G. Rubinacci, "Fast Methods for Quantitative Eddy-Current Tomography of Conductive Materials", *IEEE Trans. Magn.*, vol. 42, no. 8, (2006).
- [2] A. Tamburrino and G. Rubinacci, "A new non-iterative inversion method for electrical impedance tomography", *Inverse Problems*, (2002).
- [3] G. Rubinacci, A. Tamburrino, S. Ventre, "Eddy current imaging of surface breaking defects by using monotonicity based methods", *ACES Journal*, vol.23, no. 1, (2008).
- [4] A. Tamburrino, S. Ventre, G. Rubinacci, "Recent developments of a Monotonicity Imaging Method for Magnetic Induction Tomography" *submitted for publication on Inverse Problems*.